

Biomasa y minerales en *Lippia graveolens* bajo tres ambientes de producción en General Cepeda

Rubén Rojas-Meléndez¹
Valentín Robledo-Torres^{2,5}
Hermila Trinidad García-Osuna²
Rosalinda Mendoza-Villarreal²
Alberto Sandoval-Rangel²

1 Amigos del Desierto de Coahuila AC. Carlos Abedrop Dávila 3745, Parque Las Maravillas, Saltillo, Coahuila. CP. 25022. (rrojas@museodeldesierto.org).

2 Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila. CP. 25315. (hgosuna@gmail.com; rosalingdamendoza@hotmail.com; alberto.sandoval@uaaan.edu.mx).

Autor para correspondencia: robledo3031@gmail.com.

Resumen

El orégano (*Lippia graveolens*) de la familia Verbenaceae, es una planta aromática que se distribuye en regiones áridas y semiáridas de México, se utiliza como condimento de alimentos, elaboración de cosméticos, fármacos y licores, motivos que lo convierten en un producto de exportación. Con el propósito de determinar el mejor ambiente y tipo de fertilización que promueva las variables agronómicas, se estableció el objetivo de evaluar la producción de biomasa y concentración de minerales en tres ambientes de cultivo: invernadero, malla sombra y campo abierto y tratamientos con fertilización química con solución Steiner (SS) (0%, 50% y 100%) y biológica (cuatro cepas de *Azospirillum* spp), en un arreglo factorial de 3 x 5, con un total de 15 tratamientos en cada ambiente. El trabajo se inició en Julio de 2019, en General Cepeda, Coahuila. El ambiente con mayores valores de producción fue INV con: DP (57.56 cm), PF (240.94 g), PS (79.86 g), PST (34.35 g) y PSH (41.26 g). El T3 (SS 100%, sin *Azospirillum* sp.) resultó con mejores valores de AP (80.78 cm), DP (56.76 cm), PF (260.45 g), PS (103.36 g), PST (43.36 g) y PSH (53.45 g). Para minerales el ambiente de MS resultó ser mejor en N y K con 14 451.1 y 9 108.1 mg kg⁻¹ respectivamente y el INV para: P (4 206.95), Ca (17 486.5), Mg (1 741.11), Cu (8.24) y Zn (31.49) mg kg⁻¹.

Palabras clave:

agricultura protegida, nutrición orgánica, orégano, rizobacterias.



Introducción

Lippia graveolens, conocida como orégano mexicano, es una planta herbácea perteneciente a la familia Verbenaceae. La hoja del orégano se usa como condimento de alimentos, elaboración de cosméticos, fármacos y licores; motivos que lo convierten en un producto de exportación (García-Pérez *et al.*, 2012). La colecta de plantas silvestres es una de las principales actividades económicas de los pobladores en regiones marginadas del Semidesierto mexicano y en particular de Coahuila, donde se aprovechan especies nativas como lechuguilla (*Agave lechuguilla*), chile piquín (*Capsicum annum*), candelilla, (*Euphorbia antisiphilitica*), orégano (*Lippia* spp.) y otras más, que son sometidas a un semiproceso y posterior comercialización.

En dicha entidad, el aprovechamiento de orégano se realiza principalmente en poblaciones naturales, en la época de lluvias, por lo tanto, su aprovechamiento queda limitado a pocos meses y al ser un recurso con mucha demanda, es imprescindible impulsar formas de cultivo que amplíen los meses de cosecha, así como sus rendimientos sin poner en riesgo las poblaciones nativas.

Por otro lado, su aprovechamiento coincide con la floración de la planta, alterando la formación de frutos y producción de semillas, por lo que, dichas poblaciones se han reducido en superficie y densidad (Orona-Castillo *et al.*, 2017; Villavicencio-Gutiérrez *et al.*, 2018), poniendo en riesgo a la sostenibilidad de recurso, por lo tanto la generación de técnicas de manejo adecuadas no solo contribuirán con la conservación de la especie también en una mejor retribución económica para los pobladores de éstas regiones.

México es el segundo productor de orégano, después de Turquía y exporta alrededor del 85% de la producción nacional a Estados Unidos de América, el 10% va al mercado doméstico y el 5% a países europeos y asiáticos (Flores *et al.* 2011). La producción se concentra en los estados de Chihuahua, Durango, Coahuila, Guanajuato, Jalisco, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas (Rocha, 2014).

A pesar de que México es el segundo productor mundial de orégano, la producción proviene de especies silvestres, sin manejo agronómico. Por lo tanto, es urgente desarrollar investigación que permita hacer un uso eficiente de los insumos para la producción de orégano. La agricultura protegida puede ser una alternativa para lograr alto rendimiento y calidad de la cosecha, para satisfacer las necesidades del mercado nacional e internacional.

El objetivo fue evaluar la producción de biomasa fresca y seca del orégano, en tres ambientes de cultivo (invernadero, malla sombra y campo abierto) y el efecto de la aplicación de fertilizantes y rizobacterias en las variables agronómicas.

Materiales y métodos

Ubicación del área experimental

El estudio se realizó de julio a septiembre de 2019 en el municipio de General Cepeda, Coahuila, con coordenadas: 25° 22' 53.30" latitud norte, 101° 26' 55.52" longitud oeste, a 1 471 msnm. Según la Clasificación Modificada de Köppen para México, el clima es del tipo BS0h'(h)x'(w)(e') el cual es árido, semicálido, con temperatura anual muy extremosa con medias que oscilan entre 19.1 y 27 °C, 385.6 mm anuales de precipitación y suelo franco (García, 2004).

Material biológico

Las plantas de *L. graveolens* H.B.K. se obtuvieron de una plantación comercial del ejido El Amparo, Parras, Coahuila. Se seleccionaron plantas germinadas de forma natural dentro de la misma plantación de un año y una altura de entre 20 y 25 cm.

Se utilizaron tres cepas de *Azospirillum* spp., aisladas en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) y una cepa comercial de *Azospirillum brasiliense* T. K. D.

Análisis de suelo y agua

Se realizó un diagnóstico de la fertilidad de suelo en la parcela experimental, con resultado de textura franca, densidad de 1.04 g cm^{-3} , capacidad de campo de 15.3%, punto de marchitez permanente de 9.1%, pH de 8.64, conductividad eléctrica (CE) de 0.65 dS m^{-1} , carbonatos totales de 13% y materia orgánica del 0.47%; el análisis de agua de riego dio como resultados, CE de 1.3 dS m^{-1} , pH de 7.46, dureza de 43.81, estos análisis se realizaron en Fertilab Laboratorio Agrícola en Celaya, Guanajuato.

Los aportes de suelo y agua se descontaron a la concentración de la solución Steiner ajustada (SS). SS al 100%= $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (232 mg L^{-1}), KNO_3 (616 mg L^{-1}), KH_2PO_4 (68 mg L^{-1}), HNO_3 (0.084 ml L^{-1}) y H_2SO_4 (0.231 ml L^{-1}), SS al 50%= $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (116 mg L^{-1}), KNO_3 (308 mg L^{-1}), KH_2PO_4 (34 mg L^{-1}), HNO_3 (0.042 ml L^{-1}) y H_2SO_4 (0.115 ml L^{-1}).

Establecimiento del experimento

Se probaron tres ambientes: invernadero (INV), malla sombra (MS) y campo abierto (CA). En cada ambiente se probaron tres concentraciones de SS ajustada (0, 50 y 100%). En cada concentración de SS se probaron: un testigo sin la adición de *Azospirillum* y cuatro cepas de *Azospirillum* spp. Los 15 tratamientos resultantes fueron establecidos bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones, en los tratamientos con *Azospirillum* se agregaron a la base del tallo 20 ml de una solución con 10^6 unidades formadoras de colonias, cada 30 días. Estudiando 135 plantas por ambiente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos aplicados al cultivo de orégano, resultantes de la aplicación de nutrición química y aplicación de cuatro cepas de *Azospirillum* spp., bajo tres ambientes de producción.

Solución Steiner (%)	Cepas bacterianas estudiadas				
	Testigo (T) sin <i>Azospirillum</i>	A1	A2	A3	CC
0 (S0)	T1= S0T	T4= S0A1	T7= S0A2	T10= S0A3	T13= S0CC
50 (S50)	T2= S50T	T5= S50A1	T8= S50A2	T11= S50A3	T14= S50CC
100 (S100)	T3= S100T	T6= S100A1	T9= S100A2	T12= S100A3	T15= S100CC

Solución de Steiner; A = cepas de *Azospirillum*, CC= cepa comercial de *Azospirillum*

VARIABLES EVALUADAS Y SU MEDICIÓN

A los 60 días después del trasplante (ddt) se midió altura de planta en cm (AP), diámetro de copa de planta en cm (DP). La parte aérea de la planta se cosechó a 25 cm sobre el nivel del suelo y se pesó al momento del corte, para obtener el peso fresco en g (PF), el peso seco de la parte aérea (PS) se obtuvo al colocar el material vegetal en bolsas de papel de estraza y secarlas $40 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta peso constante, el peso seco de tallo (PST) y el peso seco de hoja (PSH) se obtuvo separando manualmente los tallos de las hojas. Se utilizó una balanza marca SIGMA con precisión de 0.01g.

CONCENTRACIÓN DE MINERALES EN HOJA SECA

Este análisis se realizó en el Laboratorio de cultivo de tejidos y análisis mineral, del Departamento de Horticultura de la UAAAN. La concentración de nitrógeno (N) se tomó considerando 0.05 g de muestra y se realizó con el método de Kjeldahl (Kjeldahl, Novatech, avante tecnología, Jal, MX) (Bremmer y Mulvaney, 1982). La determinación de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), Cobre (Cu) y Zinc (Zn) fue por el método de calcinado tomando 0.5 g de muestra (Alcántar y Sandoval, 1999).

Para la determinación de minerales se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica XplorAA Dual de la marca GBC Scientific Equipment. Para la determinación de fósforo se utilizó biomasa

seca y digestión ácida en HClO_4 y un espectrómetro (Biomate 5, Thermo Electron Scientific Madison, WI, USA) (Hanway y Heidel, 1952).

Análisis estadístico

La información se analizó con el programa estadístico SAS® V.9.0 (SAS Institute Inc., 2002) para obtener el análisis de varianza (Anva) en cada variable y una comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), mediante).

Resultados y discusión

Efecto del ambiente de producción

El Anva mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre ambientes, exhibió que, este factor afectó todas las variables agronómicas evaluadas. En los mismos parámetros agronómicos se presentó la misma significancia en los tratamientos evaluados, a excepción del PF, donde solo se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), resultados que indican que por lo menos un tratamiento afectó de forma diferente al comportamiento de las variables agronómicas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de varianza realizado a variables agronómicas de *L. graveolens* bajo tres ambientes de producción.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios					
		AP	DP	PF	PS	PST	PSH
Amb	2	5 427.5**	2 532.9**	190 768.2**	6 122.3**	2 002.6**	1 147.6**
Rep (Amb)	6	127.3**	80.1**	1 756.1ns	367.7ns	88.1ns	66.1ns
Trat	14	158.6**	97.1**	13 393.2*	1 901.9**	375.8**	500.7**
Amb x Trat	28	200.9**	84.1**	16 951.1**	1 984.7**	51 297 482*	492.1
Error	56	79.3	42.4	5 681	721.9	160.6	177.9
CV		12.161	13.014	44.632	38.784	44.318	36.852

Amb= ambientes; Rep= repetición; Trat= tratamientos; ns, *, **= no significativo, significativo con $p \leq 0.05$ y significativo con $p \leq 0.01$; R^2 = coeficiente de determinación; CV= coeficiente de variación.

Las plantas de orégano del ambiente MS fueron significativamente ($p \leq 0.05$) más altas (84.53 cm), superando en un 25.95% a las obtenidas en CA, y a las de INV en 14.1%. Las plantas en INV presentaron mayor DP (57.56 cm), superando significativamente ($p \leq 0.05$) en un 26% a las de CA y 13.29% a las plantas de MS. En INV en el día se presentó mayor temperatura que la registrada en CA o MS, de lo cual se infiere, que la mayor temperatura favoreció el desarrollo vegetativo de la planta (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores medios de variables agronómicas estudiadas en tres ambientes de producción.

Ambientes	Variables agronómicas					
	AP (cm)	DP (cm)	PF (g)	PS (g)	PST (g)	PSH (g)
CA	62.59 c	42.56 c	114.29 b	56.77 b	21.28 b	31.16 b
MS	84.53 a	49.91 b	151.39 b	71.14 a	30.14 a	36.13 ab
INV	72.59 b	57.56 a	240.94 a	79.87 a	34.36 a	41.26 a

Medias con letras iguales indican que no hay diferencias significativas (Tukey $p < 0.05$).

El PF obtenido en INV superó en 110.8% el valor obtenido en las plantas de CA, y en 59.1% a las desarrolladas en MS. Las plantas de orégano del ambiente INV y MS fueron estadísticamente iguales en PS (Cuadro 3), similar comportamiento se observó en PST de las plantas de INV y MS, aunque las plantas de INV superaron en 61.5% a las de CA.

El PSH es parámetro útil y comercializable del orégano, al respecto existieron diferencias significativas entre ambientes, el PSH obtenido en INV superó en 32.41% al registrado en CA (Cuadro 3).

Los valores obtenidos en estos ambientes de cultivo están por debajo a los obtenidos en *L. palmeri* en CA (Corella-Bernal y Ortega-Nieblas, 2013), donde obtuvieron 132 g de hojas con un 35% de humedad. En *Lippia graveolens*, Villa-Castorena *et al.* (2011) reportaron que en CA a los 140 ddt obtuvieron plantas con una altura de 90 cm y PSH de 50 g por planta, lo cual representa un crecimiento promedio de 0.64 cm por día y 0.36 g de incremento promedio de peso por día, mientras que en el presente trabajo el crecimiento promedio por día fue de 1.04 cm y el incremento promedio de peso por día fue de 0.52 g. Aunque el crecimiento no es lineal en función del tiempo, se puede indicar que en INV la AP y PSH se incrementaron de forma más eficiente.

Al respecto Martínez-Hernández *et al.* (2017) reportan en *L. graveolens* un PSH de 1.42 g por planta, producida en invernadero en diferentes sustratos, factor a considerar en un esquema de producción en INV. Esto datos indican que el PSH depende de la especie, la edad de la planta, tipo y tamaño de la hoja de la planta, así como el ambiente de producción. Dunfort y Silva-Vázquez (2005) en invernadero reportaron un PF 56.6 g, PS 28.1 g, PST de 8 g y PSH de 13.8 g por planta, promedios inferiores a los obtenidos en esta investigación.

Si se considera que la producción de PSH es lo más importante. Será necesario seleccionar el ambiente y la densidad de plantación. En CA se han establecido 5 000 plantas ha⁻¹ (Corella-Bernal y Ortega-Nieblas, 2013), obteniendo hasta tres cortes por año, reportando un rendimiento de 2 240 kg de hoja seca.

Mientras que en este trabajo el PSH (31.16 g) en CA la producción estimada es de 1 869.6 kg ha⁻¹, y en INV (41.16 g) por planta con tres cortes por año, se estimó una producción de 2 475.6 kg ha⁻¹ con una densidad de 20 0009 plantas ha⁻¹, superando los rendimientos estimados por otros autores.

Trabajos de investigación como los de Flores Hernández *et al.* (2011), coinciden con estos resultados y refieren que en *L. graveolens* bajo cultivo en CA en la Comarca Lagunera en plantas de cinco años se obtuvo un PF de 22 t ha⁻¹ y un PS de 13 t ha⁻¹, lo que les dio una producción promedio de 2 640 kg ha⁻¹ de materia útil.

Aunque Osorno-Sánchez *et al.* (2009) en plantas silvestres de *L. graveolens*, reportaron una producción promedio de 1 t km⁻² de hoja seca por año, en el municipio de Peñamiller, Querétaro, inferior al obtenido en esta investigación.

Por su parte Valdés Oyervides *et al.* (2012), en invernadero y una solución nutritiva comercial (Fertiplus) tuvo 158.12 g planta⁻¹ en PF y 74.6 g de PS por planta. Los resultados de Murillo-Amador *et al.* (2013) concuerdan con los obtenidos en la presente investigación, donde la MS tiene mayor producción que en CA.

Respuesta de variables agronómicas a nutrición química y rizobacterias

En la AP, el tratamiento 3 (SS al 100% sin rizobacterias) fue significativamente igual a 13 tratamientos, registrando 80.78 cm y superando en 27.7% al tratamiento 8 (SS al 50%, cepa A3) tuvo la menor AP. La fertilización química completa del T3, así como la rizobacteria (A3) sin nutrición química, indujeron la mayor AP de orégano (Cuadro 4).

Cuadro 4. Valores medios de variables agronómicas en respuesta a la nutrición química y rizobacterias.

Tratamientos	Variables agronómicas					
	AP (cm)	DP (cm)	PF (g)	PS (g)	PST (g)	PSH (g)
1. SOT	70.98 ab	50.32 ab	161.26 ab	70.49 ab	29.41 ab	37.59 ab
2. S50T	70.67 ab	46.4 ab	114.96 b	49.62 b	19.94 b	26.62 b
3. S100T	80.78 a	56.76 a	260.45 a	103.36 a	43.36 a	53.45 a

Tratamientos	Variables agronómicas					
	AP (cm)	DP (cm)	PF (g)	PS (g)	PST (g)	PSH (g)
4. S0A1	77.51 ab	56.04 a	216.9 ab	89.95 ab	33 ab	45.35 ab
5. S50A1	72.37 ab	50.85 ab	158.57 ab	68.86 ab	28.27 ab	36.83 ab
6. S100A1	73.47 ab	50.34 ab	180.12 ab	66.46 ab	27.61 ab	32.74 ab
7. S0A2	72.7 ab	49.11 ab	142.68 ab	60.98 ab	24.55 ab	31.33 b
8. S50A2	63.25 b	44.51 b	120.62 b	53.71 b	17.8 b	28.72 b
9. S100A2	73.63 ab	51.11 ab	194.41 ab	74.35 ab	31.47 ab	37.32 ab
10. S0A3	78.39 a	47.93 ab	168.9 ab	71.14 ab	31.4 ab	37.27 ab
11. S50A3	74.58 ab	50.69 ab	193.29 ab	80.16 ab	34.87 ab	44.32 ab
12. S100A3	73.33 ab	50.44 ab	143.65 ab	56.06 b	23.67 ab	28.35 b
13. S0CC	75.74 ab	48.49 ab	163.47 ab	63.37 a	28.01 ab	31.88 ab
14. S50CC	72.86 ab	51 ab	186.32 ab	76.87 ab	33.02 ab	41.04 ab
15. S100CC	68.32 ab	46.18 ab	127.51 b	53.53 b	22.45 b	29.89 b

Medias con la misma letra en la misma columna son significativamente iguales (Tukey $p \leq 0.05$).

Los tratamientos 3 y 4 presentaron el mayor DP, pero fueron significativamente iguales a 13 tratamientos, el primero superó en 27.5% al 8 (SS al 50%, cepa A3). En las variables AP y DP, registraron un promedio menor al obtenido por Corella Bernal y Ortega-Nieblas (2013), quienes reportaron en su segundo corte un AP de 85 cm y 78 cm respectivamente, aplicando solo riegos auxiliares.

En PF el tratamiento 3 fue el que exhibió el mayor valor con 260.45 g y fue significativamente superior a los tratamientos 2, 8 y 15, a los cuales superó en 126.5%, 115.9% y 104.2% respectivamente, también fue el que presentó el mayor PS con 103.36 g siendo significativamente superior a los tratamientos 2, 8, 12 y 15, a los que superó en 108.36%, 92.4%, 84.4% y 93.1% respectivamente (Cuadro 4).

En PST el tratamiento 3 registró un valor de 43.36 g y fue significativamente mayor a los tratamientos 2, 8 y 15, a los cuales superó en 117.4%, 143.6% y 93.1% respectivamente. En PSH el tratamiento 3 registró el mayor promedio (53.45 g), valor significativamente superior a los tratamientos 2, 7, 8, 12 y 15, a los cuales superó en 100.8%, 70.6%, 86.1%, 88.5% y 78.8% respectivamente, pero significativamente igual a 9 tratamientos. En las variables antes citadas el tratamiento 3, exhibió el mejor comportamiento, aunque el tratamiento sin SS y la rizobacteria A1, fue significativamente igual al tratamiento 3, representando una alternativa para la producción de orégano (Cuadro 4).

Si se establece una densidad de 20 000 plantas ha^{-1} con el T3 se alcanzaría una producción estimada de PSH de 1 069 kg ha^{-1} , mientras que con el T4 se podría obtener un PSH de 907 kg, con un solo corte, mostrando una diferencia en PSH de 162 kg, aunque se tiene la ventaja que con el uso de rizobacterias, la producción es más económica y menos perjudicial al ambiente.

En este sentido Juárez-Rosete *et al.* (2019) obtuvieron un PF de 52.23 g y un PS de 7.99 g planta^{-1} , al aplicar solución Steiner al 75%, valores bajos, comparados con los registrados en el tratamiento 3 de este trabajo, donde el PF fue 4.5 veces mayor y el peso seco 13 veces mayor. Esta diferencia puede deberse a la edad de la planta ya que estos investigadores utilizaron plantas de aproximadamente tres meses.

Contenido de minerales en hoja en respuesta al ambiente de producción

El contenido foliar de minerales mostró diferencias significativas ($p \neq 0.01$) entre ambientes, lo que indica que esta variable sí es afectada por el ambiente de producción. En INV la concentración de P, Ca, Mg, Cu y Zn superó al valor observado en MS y CA, pero las concentraciones de N y K fue mayor en MS, mientras que en CA se registraron los menores valores de minerales (Cuadro 5).

Cuadro 5. Comparación de medias en ambientes de producción para la concentración de minerales en hoja seca (Tukey $p \leq 0.05$).

Ambiente de producción	Contenido de elementos minerales en hoja de orégano (mg kg^{-1})						
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn
CA	12 522.2 b	3 293 b	8 283.6 b	14 007.1 b	1 546.2 b	5.36 b	25.24 b
MS	14 451.1 a	2 538.7 c	9 108.1 a	11 545.3 c	1 438.2 b	5.79 b	22.14 c
INV	10 624.4 c	4 206.9 a	8 113.3 b	17 486.5 a	1 741.1 a	8.24 a	31.49 a

Macronutrientes: N= nitrógeno; P= fósforo; K= potasio; Ca= calcio. Micronutrientes: Mg= Magnesio; Cu= cobre; Zn= zinc. Medias con la misma letra en la misma columna son significativamente iguales (Tukey $p \leq 0.05$).

El contenido de N en hojas de plantas desarrolladas en MS fue significativamente mayor a los valores registrados en las plantas en la condición de INV (Cuadro 5), la temperatura dentro del invernadero pudo ser un factor que influyó en la menor cantidad de N en las plantas, contrario a lo reportado por Nkansah e Ito (1995), quienes mencionan que, al incrementarse la temperatura del aire, la absorción de nitrógeno aumenta.

La concentración de P en la hoja seca en plantas de INV fue de $4\,206.96 \text{ mg kg}^{-1}$, concentración que superó significativamente en 65.7% y 27.7% a la concentración observada en MS y CA respectivamente, concordando con Nkansah e Ito (1995), quienes mencionan que el fósforo se absorbe en mayor cantidad en temperaturas mayores.

La concentración de K en hoja seca en condición de MS fue, significativamente superior a la registrada en INV y CA (Cuadro 5). Nkansah e Ito (1995) señalan que en tomate las temperaturas mayores favorecen la absorción de calcio, en este trabajo la mayor temperatura se registró en INV, también la mayor concentración de calcio (Cuadro 5).

La concentración de microelementos como, Mg, Cu y Zinc fueron significativamente mayores en plantas de INV (Cuadro 5). Antal *et al.* (2015) refieren que en plantas de campo de *Origanum vulgare*, mostraron un contenido más elevado de potasio y magnesio, mientras que la concentración de calcio fue menor a las reportadas en este estudio. Estas diferencias pudieran ser debidas al genotipo, así como al tipo de suelo de la región de origen y condiciones de cultivo.

En este estudio el contenido de Cu en hojas, registraron una concentración similar a la reportada en *O. vulgare*, por Antal *et al.* (2015). Mientras que la concentración de Zn fue mayor. El contenido de Cu en orégano de INV, fue significativamente mayor al de MS o CA, superando significativamente a este último en 53.7%. En INV se registró una mayor concentración de Zn, superando significativamente a la concentración observada en MS y Ca en 42.2 y 24.76% respectivamente (Cuadro 5).

Contenido de minerales en hoja en respuesta a los tratamientos

Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos para seis de los minerales estudiados, indicando que por lo menos un tratamiento afectó de forma significativa el contenido de minerales en las plantas de orégano (Cuadro 6).

Cuadro 6. Concentración de elementos minerales en hojas de orégano, respuesta a la aplicación de tratamientos de nutrición química y orgánica (Tukey $p \leq 0.05$).

Tratamientos	Elementos minerales (mg kg^{-1})						
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn
1. S0T	11 433 ab	2 636 g	8 393 abcd	13 847 b	1762 a	6.3 ab	24.1 b
2. S50T	13 922 ab	2 914 efg	9 507 a	14 128 b	1529 a	6.9 ab	26.2 ab
3. S100T	15 011 a	3 132 def	7 097 e	21 263 a	1778 a	5.9 ab	25.5 ab

Tratamientos	Elementos minerales (mg kg ⁻¹)						
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn
4. S0A1	14 078 ab	2 838 fg	7 580 de	15 249 b	1557 a	5.9 ab	23.2 b
5. S50A1	13 300 ab	3 254 cde	8 879 abc	11 946 b	1507 a	5.6 b	25.8 ab
6. S100A1	11 278 ab	3 405 bcd	8 521 abcd	13 001 b	1389 a	6.7ab	28.4 ab
7. S0A2	11 433 ab	3 230 cde	8 260 cd	11 677 b	1411 a	5.8 b	21.6 b
8. S50A2	11 278 ab	3 669 ab	8 336 bcd	12 176 b	1636 a	7.1 ab	26.0 ab
9. S100A2	10 033 b	3 478 abcd	9 139 abc	12 288 b	1497 a	7.6 a	31.7 a
10. S0A3	13 611 ab	3 513 abc	7 593 de	15 820 b	1437 a	5.8 b	24.9 ab
11. S50A3	12 989 ab	3 564 abc	8 580 abcd	14 870 b	1626 a	6.7 ab	28.3 ab
12. S100A3	11 589 ab	3 794 a	9 022 abc	13 936 b	1526 a	6.4 ab	25.4 ab
13. S0CC	13 300 ab	3 408 bcd	8 491 abcd	15 577 b	1678 a	5.9 ab	23.2 b
14. S50CC	13 144 ab	3 635 ab	9 450 ab	13 250 b	1472 a	7.1 ab	28.4 ab
15. S100CC	11 589 ab	3 723 ab	8 676 abcd	16 169 b	1826 a	7.1 ab	31.5 a

Medias con la misma letra en la misma columna son significativamente iguales (Tukey $p \leq 0.05$).

El tratamiento 3 superó significativamente al tratamiento 9 en 49.6% en la concentración de N en la hoja seca (Cuadro 6). En dichos tratamientos la diferencia entre ambos tratamientos fue la adición de la cepa A2, estos resultados muestran que la rizobacteria indujo una reducción de N en la hoja, y la fertilización química tuvo un efecto positivo en el N de hoja, similar a lo reportado por Juárez-Rosete *et al.* (2019) en *Origanum vulgare* L. sp. Hirtum donde se obtuvo mayor concentración de N con la solución Steiner al 125%.

El tratamiento 12 mostró la mayor concentración de P; sin embargo, fue significativamente igual a los tratamientos 8, 9, 10, 11, 14 y 15 (Cuadro 6). Esto demuestra que la interacción de la SS y el tipo cepa utilizada, influyen en la cantidad de P en hojas. Los resultados obtenidos son similares a lo reportado por Fukalova *et al.* (2021), en hojas de *O. vulgare*, mientras que Juárez-Rosete *et al.* (2019) reportaron concentraciones de 5 100 mg kg⁻¹ en la misma especie de orégano.

Los autores Raffi y Charyulu (2021), mencionan que la aplicación *Azospirillum* coadyuva en la solubilización del fósforo y facilita la absorción de nutrientes por la planta, coincidiendo con los resultados de este trabajo, donde los tratamientos sin bacterias y con la menor nutrición química, exhibieron menor concentración de P. La mayor concentración de K en hojas de orégano se tuvo con el tratamiento 2, valor significativamente mayor a los obtenidos en los tratamientos 3, 4, 7, 8, y 10, a los cuales superó en 33.9%, 25.4%, 15.1%, 14.0%, 20.1% respectivamente (Cuadro 6). Fukalova *et al.* (2021), obtuvo el triple de concentración de K en *O. vulgare* con el 2.8% del peso de sus tejidos, mientras Juárez-Rosete *et al.* (2019) registraron una cantidad de K de 55 700 mg kg⁻¹.

La disponibilidad de K se ve afectada por la cantidad de este macroelemento aplicado, por la naturaleza de las arcillas del suelo y la saturación potásica, que provocan una redistribución del K en formas intercambiables y fijadas (Conti, 2004). La mayor cantidad de Ca en hoja se tuvo con el tratamiento 3, superando significativamente en 82.1% al 7. Fukalova (2021), en *O. vulgare* registró menor concentración de Ca de sus tejidos, mientras que en Mg no se observaron diferencias significativas entre tratamientos.

El tratamiento 9 presentó la concentración más alta de Cu en hoja seca, sobrepasó significativamente a tratamientos 5, 7 y 10 en 35.7%, 31% y 31% respectivamente. Los resultados observados en este trabajo difieren de lo reportado por Fukalova (2021), que obtuvo una concentración de 4 000 mg kg⁻¹ en *O. vulgare* (Cuadro 6). El mismo tratamiento 9 también exhibió el mayor contenido de Zn superando significativamente a los tratamientos 1, 4, 7, 13, en 31.53, 36.5, 46.7 y 36.6% respectivamente. Lo que indica que la nutrición química favoreció las mayores concentraciones de Zn en hoja. Los resultados que indican que ninguna de las rizobacterias evaluadas tuvo efecto sobre el contenido de Zn en hojas de orégano, aunque Arzanch *et al.* (2012) reportan que la aplicación de *Azospirillum*, incrementa la concentración de Zn en la planta.

Conclusiones

En invernadero se indujo el mayor diámetro de copa, peso fresco total, peso seco total, peso seco de tallo y peso seco de hoja, dando mayor producción de biomasa, que es la que da el valor a la cosecha del orégano, recomendado su producción en invernadero.

La solución Steiner al 100% registró los mayores valores en las variables agronómicas estudiadas, pero todos los tratamientos con rizobacterias y sin solución de Steiner, fueron significativamente iguales a la aplicación de solución de Steiner al 100%, por lo tanto, se recomienda la aplicación de rizobacterias para la producción de orégano.

En malla sombra se indujo el mayor contenido de N y K, y en invernadero el mayor contenido de P, Ca, Mg, Cu y Zn, indicando que el ambiente de producción puede modificar favorablemente la composición mineral de la parte comestible del orégano.

Las cepas *Azospirillum* sp., A1 y la comercial, estudiadas a través de ambientes y dosis de nutrición química, registraron los mayores valores en elementos minerales en hoja.

Agradecimientos

El autor principal expresa su agradecimiento a Amigos del Desierto de Coahuila AC, por brindar la oportunidad para realizar esta investigación. A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y en especial los maestros-investigadores de la Maestría en Ciencias en Horticultura por el apoyo para la realización de este trabajo.

Bibliografía

- 1 Alcántar-González, G. y Sandoval-Villa, M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial, 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. 155 p.
- 2 Antal, D. S.; Citu, C.; Ardelean, F.; Dhelean, C.; Vlaia, L.; Soica, C.; Vlaia, V.; Biris, M. and Sas, I. 2015. Metallome of *Origanum vulgare*: the unknown side of a medicinal and aromatic plant used worldwide. *Farmacia*. 63(4):534-538.
- 3 Arzansh, M. H.; Benny, N. A.; Ghorbanly, M. L. and Shahbazi, M. 2012. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth parameters and levels of micronutrient on rapeseed cultivars under salinity stress. *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 2(2):153-163. <https://ejsms.gau.ac.ir/issue-24-143.html?lang=en>.
- 4 Bremner, J. M. and Mulvaney, C. S. 1982. Nitrogen-total. In 'methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties'. Ed. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America: Madison, WI, USA. 595-624 pp. Doi: <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c31>.
- 5 Conti, M. E. 2004. Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. IPNI. INPOFOS. 8(1):25-37. <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1090>.
- 6 Corella-Bernal, R. A. y Ortega-Nieblas, M. M. 2013. Importancia del aceite esencial y la producción de orégano *Lippia palmeri* Watson en el Estado de Sonora. *Biotecnia*. 15(1):57-64. Doi: <https://doi.org/10.18633/bt.v15i1.137>.
- 7 Dunford, N. T. and Silva-Vazquez, R. 2005. Effect of water stress on plant growth and thymol and carvacrol concentrations in Mexican oregano grown under controlled conditions. *Journal of Applied Horticulture*. 7(1):20-22.
- 8 Flores-Hernández, A.; Hernández-Herrera, J. A.; López-Medrano, J. I.; Valenzuela-Núñez, L. M.; Martínez-Salvador, M. y Madinaveitia-Ríos, H. 2011. Producción y extracción de aceite de orégano (*Lippia graveolens* Kunth.) bajo cultivo en la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 2(3):113-120.

- 9 Fukalova, F. T.; Brito, B. G.; Novoa, T. C.; Sagñay, E. T.; Samaniego, I. M.; Tacán, M. P. y Tapia, I. C. 2021. Análisis comparativo de las propiedades fisicoquímicas y capacidad antioxidante de un morfotipo de orégano (*Origanum vulgare* L.) cultivado en dos localidades de la sierra ecuatoriana. *Siembra*. 8(1):1-10. <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.2289>.
- 10 García-Pérez, E.; Castro-Álvarez, F. F.; Gutiérrez-Urbe, J. A. y García-Lara, S. 2012. Revisión de la producción, composición fitoquímica y propiedades nutraceuticas del orégano mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(2):339-353.
- 11 García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 13-165 pp.
- 12 Hanway, J. J. and Heidel, H. 1952. Soil analysis methods as used in Iowa state college soil testing laboratory. *Iowa State College of Agriculture Buletin*. 57(1):1-31.
- 13 Juárez-Rosete, C. R.; Aguilar-Castillo, J. A.; Aburto-González, C. A. and Alejo-Santiago, G. 2019. Biomass production, nutritional requirement of nitrogen, phosphorus and potassium, and concentration of the nutrient solution in oregano. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 25(1):17-28. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.02.006>.
- 14 Martínez-Hernández, R.; Villa-Castorena, M. M.; Catalán-Valencia, E. A. and Inzunza-Ibarra, M. A. 2017. Production of oregano (*Lippia graveolens* Kunth) seedling from seeds in nursery for transplanting. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 23(1):61-73. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.11.051>.
- 15 Murillo-Amador, B.; Nieto-Garibay, A.; López-Aguilar, R.; Troyo-Diéguez, E.; Rueda-Puente, E. O.; Flores-Hernández, A. and Ruiz-Espinoza, F. H. 2013. Physiological, morphometric characteristics and yield of *Origanum vulgare* L. and *Thymus vulgaris* L. exposed to open-field and shade-enclosure. *Industrial Crops and Products*. 49(1):659-667. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.06.017>.
- 16 Nkansah, G. O. and Ito, T. 1995. Comparison of mineral absorption and nutrient composition of heat-tolerant and non-heat-tolerant tomato plants at different root-zone temperatures. *Journal of Horticultural Science*. 70(3):453-460. <https://doi.org/10.1080/14620316.1995.11515315>.
- 17 Osorno-Sánchez, T.; Flores-Jaramillo, D.; Hernández-Sandoval, L. and Lindig-Cisneros R. 2009. Management and extraction of *Lippia graveolens* in the arid lands of Queretaro, Mexico. *Economic Botany*. 63(3):314-318. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12231-009-9087-2>.
- 18 Orón-Castillo, I. A. J.; Salvador-Almazán, J. J.; Espinoza-Arellano J. J. y Vázquez, C. 2017. Recolección y comercialización del orégano (*Lippia* spp.) en el Semi-Desierto Mexicano, un caso de estudio: reserva ecológica municipal sierra y cañón de Jimulco, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 41(1):684-695.
- 19 Raffi, M. M. and Charyulu, P. B. B. N. 2021. *Azospirillum*-biofertilizer for sustainable cereal crop production: status in recent developments in applied microbiology and biochemistry. Academic Press. India. 193-209 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821406-0.00018-7>.
- 20 Rocha-Estrada, A.; Alvarado-Vázquez, M. A.; García-Sánchez, J. E.; Guzmán-Lucio, M. A.; Hernández-Piñero, J. L. y Foughbakhch-Pournavab, R. 2014. Caracterización palinológica de las especies de orégano de los géneros *Lippia* (Verbenaceae) y *Poliomintha* (Lamiaceae) de Nuevo León. *Ciencia UANL*. 17(68):49-56. Doi: 10.18387/polibotanica.50.1.
- 21 SAS Institute. 2002. User's guide of SAS (Statistical Analysis System). SAS Institute Inc. Cary, N. C. USA. 550 p.
- 22 Valdés-Oyervides, F.; Rivas-Morales, J. C.; Benavides-Mendoza, A. Núñez-González, M. A.; Verde-Star, J.; Oranday-Cárdenas, A. y Robledo-Torres, V. 2012. Efecto de iones y

- sales en la productividad y acumulación de prolina en *Lippia graveolens* HBK. Pyton. 81(1):191-198.
- 23 Villa-Castorena, M. E. A.; Catalán-Valencia, J. G.; Arreola-Ávila, M. A.; Inzunza-Ibarra, M. A. y López, A. R. 2011. Influencia de la frecuencia del riego en el crecimiento de orégano (*Lippia graveolens* HKB). Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 17(esp):183-193. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.10.088>.
- 24 Villavicencio-Gutiérrez, E. E.; Hernández-Ramos, A.; Aguilar-González, C. N. y García-Cuevas, X. 2018. Estimación de la biomasa foliar seca de *Lippia graveolens* Kunth del sureste de Coahuila. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 9(45):187-205. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.139>.



Biomasa y minerales en *Lippia graveolens* bajo tres ambientes de producción en General Cepeda

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 November 2024
Date accepted: 01 February 2025
Publication date: 07 March 2025
Publication date: Jan-Feb 2025
Volume: 16
Issue: 1
Electronic Location Identifier: e3214
DOI: 10.29312/remexca.v16i1.3214

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

agricultura protegida

nutrición orgánica

orégano

rizobacterias

Counts

Figures: 0

Tables: 6

Equations: 0

References: 24

Pages: 0